

УДК 628. 973 (045)

**А.П. Колотюк,
В.О. Шевченко**

*Національний авіаційний університет.
Інститут електроніки і систем управління*

МОДЕЛЮВАННЯ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ СВІЛОДІОДІВ

Сучасні світлові прилади стають більш високотехнологічними за рахунок використання економічних електронних систем електроживлення та систем управління, використання ефективних джерел світла та матеріалів з оптимальними характеристиками світлотехнічної арматури. Виробники світлотехнічного обладнання пропонують широкий вибір своєї продукції, що забезпечує потреби освітлення та створення світлового середовища. Створюються світлові прилади не лише за утилітарним чи спеціалізованим призначенням, а й за індивідуальним, концептуальним. За умови високих вимог до якості освітлення та енергозбереження більшість країн у світі відмовляються від виробництва та використання світлових приладів на основі таких джерел світла як лампи розжарювання та малоефективних систем електроживлення, існують навіть державні законодавчі програми по забороні виробництва та використання такого обладнання. В Україні також прийнято рішення про створення та виконання цільової програми розробки високоефективних джерел світла та світлових приладів на їх основі.

У зв'язку з цим, особлива увага приділяється створенню світлотехнічного обладнання на основі світловипромінюючих діодів (СВД). Сучасний розвиток технологій виготовлення світлодіодів та швидкий прогрес відповідних СВД - технологій дозволяють прогнозувати ще більш широке використання світлодіодів та світлових приладів на їх основі в різних галузях світлотехніки [1,2].

Потужні світлодіоди мають ряд переваг перед іншими джерелами світла - це високий ККД, значний термін служби, світлова віддача до 80-100 лм/Вт і більше, високий індекс кольоропередачі, можливість одержувати модульоване випромінювання зміною параметрів живлення. Для використання всіх переваг СВД особливого значення набуває управління випромінюваним світловим потоком. Більшість потужних світлодіодів поставляється зі стандартними лінзами, які фокусують та спрямовують світло. Ряд компаній випускає спеціалізовану оптику для світлодіодів провідних світових виробників, розраховану на найрізноманітніші застосування цих пристроїв. Існує оптика з різними діаграмами направленості та оптика, розрахована на використання декількох СВД, що дозволяє створювати світлодіодні модулі (СДМ). Вартість оптики на один потужний світлодіод може досягати кількох доларів. Однак, ці витрати забезпечують необхідний результат, надійне з'єднання оптики зі світлодіодами та спрощений монтаж.

Лінзи і рефлектори є найбільш часто використовуваними оптичними засобами, призначеними для формування діаграми направленості СВД. Ширина сформованого пучка світла при цьому може становити від одиниць до десятків градусів.

Структуру випромінювання СВД можна охарактеризувати як потік випромінювання, що поширюється в просторі. Більшість світлодіодів випромінюють

потік симетрично навколо оптичної осі, тому структуру випромінювання визначає графік кутової залежності інтенсивності потоку. Основним параметром структури випромінювання є кут, що визначає ширину структури випромінювання на рівні половинної максимальної інтенсивності.

Як правило, потужні світлодіоди виготовляються з одним із трьох стандартних типів лінз: Lambert, Batwing або лінзи зі структурою випромінювання бічного розсіювання. У випадку застосування лінзи Lambert світлодіод генерує рівномірно розподілений потік світла, що характеризується косинусною залежністю інтенсивності випромінювання. На рис. 1 показана типова структура випромінювання ламбертівського світлодіоду Luxeon фірми Philips Lumileds [3].

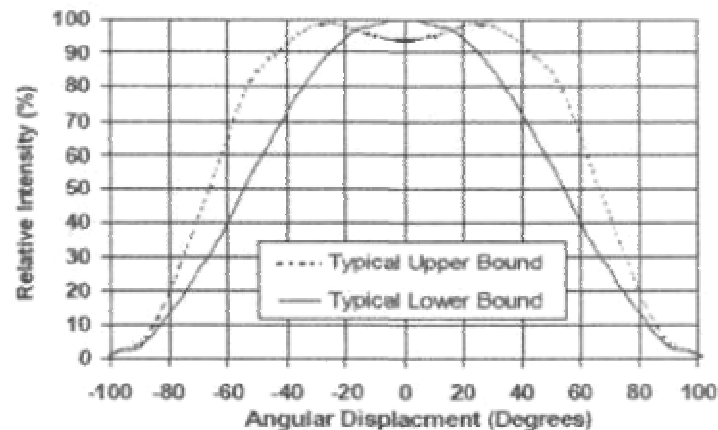


Рис. 1. Структура випромінювання лінзи типу Lambert

Застосування лінзи Batwing (batwing, англ. - крило кажана) дозволяє одержати потік із провалом у напрямку оптичної осі та двома максимумами при кутах близько 40° (рис. 2).

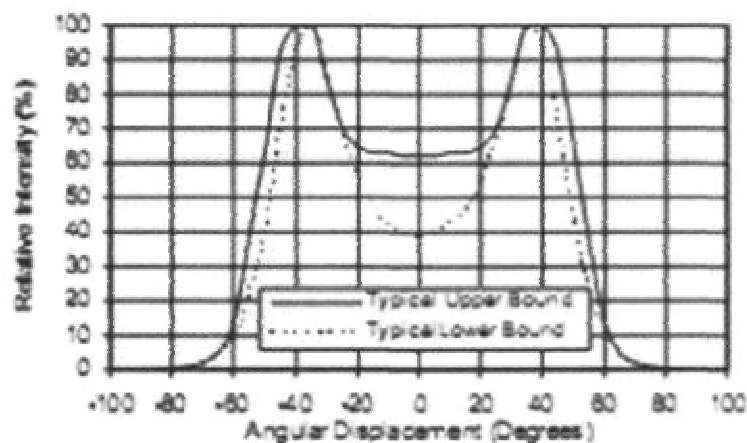


Рис. 2. Структура випромінювання лінзи типу Batwing.

Лінза бічного розсіювання відрізняється від попередніх типів лінз своєю формою й структурою випромінювання. Застосування кінцевого рефлектора дозволяє сформувати вузький потік світла, розсіяного на 360° навколо осі на горизонтальній площині (рис. 3). Основне застосування - сигнальні фари, а також області, де випромінюване світло повинно розділитися на дві частини і спрямовуватися в протилежних напрямках.

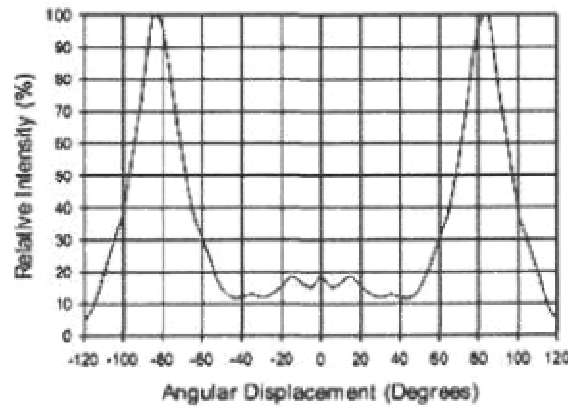


Рис. 3. Структура випромінювання лінзи зі структурою випромінювання бічного розсіювання.

Часто для виконання світлотехнічного проекту потрібне застосування додаткових оптичних пристроїв, призначених або для концентрації світла, випромінюваного джерелом, або для розсіювання цього світла. Основні виробники оптики для світлодіодів провідних виробників Luxeon, Seoul Semiconductor, Cree, Nichia - Carclo Technical Plastics (Великобританія), Edison Opto Corporation (Тайвань), Ledil (Фінляндія), Khatod (Італія), Fraen SRL (Італія). Однак на ринку багато пропозицій від менш відомих фірм. Варто обережно підходити до вибору вторинної оптики, оскільки заявлені характеристики далеко не завжди підтверджуються на практиці.

Одним із найпростіших і дешевих додаткових оптичних пристроїв є лінзи, які фокусують світло, що проходить через них. Недоліком лінз є те, що вони не збирають світло, що генерується світлодіодом в бічних напрямках, тому концентрація світла лінзами - на рівні 50 %.

Досить ефективним оптичним пристроєм для перетворення випромінювання СВД є рефлектори, які виготовляються з пресованого металу або литого пластику з металевим відбиваючим покриттям. Звичайні параболічні рефлектори також можуть призначатися для генерування широкої рівномірно освітленої площі із крутою межею інтенсивності світла.

Надійність і вихідні характеристики світлодіодів тісно пов'язані з температурою, тому при розробці пристроїв на основі СВД повинна бути вирішена проблема відводу надлишкового тепла від кристалу до системи охолодження. Потрібно врахувати, що значна частина спожитої електричної енергії йде на нагрівання кристалу й усього світлодіоду в цілому. Крім того, на теплові режими великий вплив чинять зовнішні фактори. Теоретичний розрахунок залежності параметрів світлодіоду від температури є досить складним завданням. Тому, доцільно виконати експериментальне дослідження конкретних пристроїв (світлодіод, система охолодження, температура зовнішнього середовища) для встановлення залежності характеристик пристроїв від температури.

Світлодіодна продукція буде працювати надійно і якісно тільки при забезпеченні роботи в умовах, що рекомендуються виробником. При розсіюванні потужності менш 10... 15 Вт прийнятним є використання алюмінієвих радіаторів. Головним недоліком конструкції тепловідводу на основі алюмінієвого радіатора є багат шаровість. Багат шаровим конструкціям властиві супутні перехідні теплові опори, які хоч і можна мінімізувати застосуванням спеціальних матеріалів, проте, вони призводять до збільшення температури переходу. Перспективним засобом охолодження СВД є застосування керамічних радіаторів, які характеризуються малим тепловим опором, високою механічною й діелектричною міцністю, відмінною адгезією до металів. Сполучення таких властивостей дозволяє створювати

світлотехнічні пристрої з повністю ізолюваним тепловідводом і монтажем світлодіодів безпосередньо на поверхні радіатора. При розсіюванні потужностей більше 15...20 Вт радіатор можна доповнити елементом примусового повітряного обдування. Таким чином, система охолодження потужних СВД є важливою складовою частиною будь-якого світлотехнічного пристрою, від якої залежать надійність і світлові характеристики. Існує безліч технологій охолодження, які можна використовувати як окремо, так і комбіновано.

Оскільки окремий світлодіод характеризується порівняно малим світловим потоком, світлодіодний світильник може складатися з кількох або з кількох десятків таких діодів. Тому виникає потреба в попередньому моделюванні світлодіодних світильників для визначення кількості світлодіодів, їх взаємного розташування та необхідності додаткових оптичних елементів.

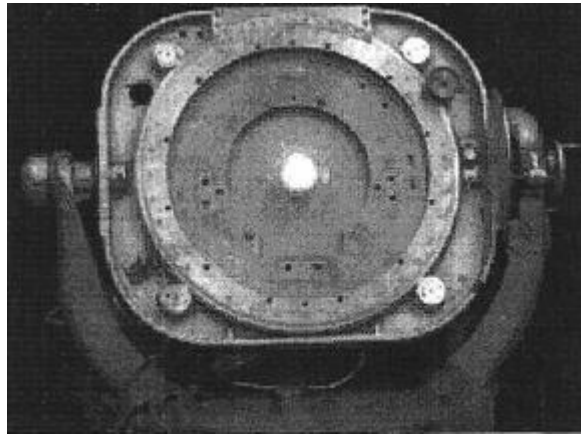


Рис. 4. Поворотний стенд

Зазвичай, виробники СВД надають інформацію про свої вироби, в тому числі, характеристики світлорозподілу - криві сили світла (КСС) в перерізах фотометричного тіла. Конструкція більшості світлодіодів дозволяє використання спеціально розроблених додаткових оптичних пристроїв для формування потоку випромінювання. Знання типових характеристик цих пристроїв недостатньо для визначення світлотехнічних характеристик модуля "світловипромінюючий діод - оптичний пристрій" без додаткових експериментальних досліджень. Тому моделювання світлодіодних світильників треба починати з експериментального дослідження КСС світлодіодів.

В фотометричній лабораторії кафедри електротехніки і світлотехніки НАУ були виконані дослідження світлотехнічних характеристик світлодіодів Luxeon білого та червоного світіння ламбертівського типу, в тому числі з різними додатковими оптичними пристроями, виготовленими для даних типів світлодіодів. Основними елементами дослідної установки є поворотний стенд КЯ 4.13200002 (рис. 4) та вимірний прилад - фотометр-радіометр ФР-2.

Отримані експериментальні результати дозволяють виконати, в першому наближенні, моделювання світлових приладів на основі СВД, у тому числі, світлосигнальних приладів. Були розроблені спеціальні програми для розрахунку КСС світлодіодних світильників з довільно розташованими та зорієнтованими відносно певного центру діодами, які дозволяють отримувати дані для створення фотометричних файлів світильників в IE8-форматі [4] та розраховувати освітленості, створювані такими світильниками.

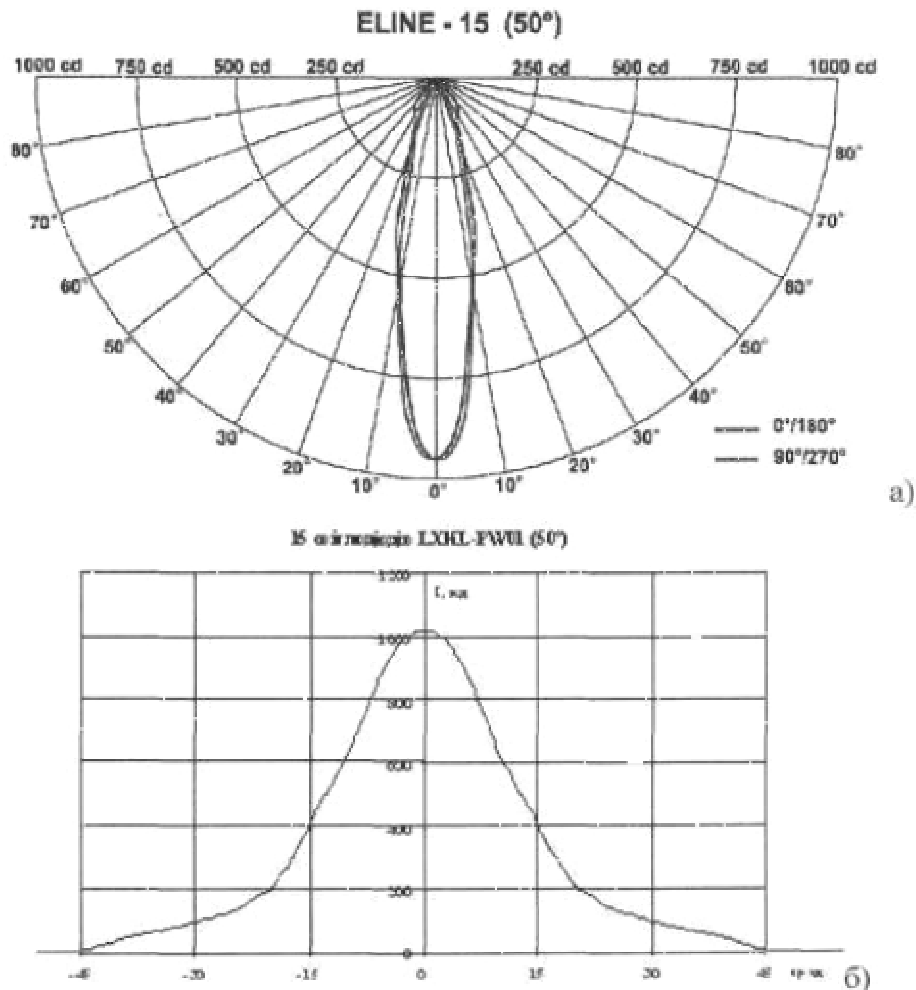


Рис. 5. Експериментальні (а) та розрахункові (б) значення КСС світильника Eline-15 з 15-ти світловипромінюючих діодів LXHL-PW01

На рис. 5 наведено експериментальні та розраховані теоретично значення КСС світильника Eline-15 виробництва фірми «Елотек», що складається з 15 світлодіодів з 50° оптикою (відстань між діодами в лінійці - 30 мм). Відмінність теоретичних розрахунків від характеристик реальних світильників не перевищує 10% і пояснюється тим, що параметри окремих світлодіодів світильника, а також струм і теплові режими дослідженого діода й діодів у реальному світильнику дещо відрізняються між собою. До того ж, в реальному світильнику застосовується захисне скло, тому вихідний потік зменшується через поглинання, розсіювання й відбиття на додаткових, не врахованих в теоретичних розрахунках, елементах. Усунення або зменшення таких розбіжностей може бути виконане за рахунок удосконалення програм або за рахунок введення поправочних коефіцієнтів.

Результати розрахунків горизонтальної освітленості, створеної наведеним вище «віртуальним» світильником, отримані за допомогою розробленої програми, можуть бути представлені у вигляді плоскої та об'ємної поверхні (рис. 6) або у вигляді табличних даних.

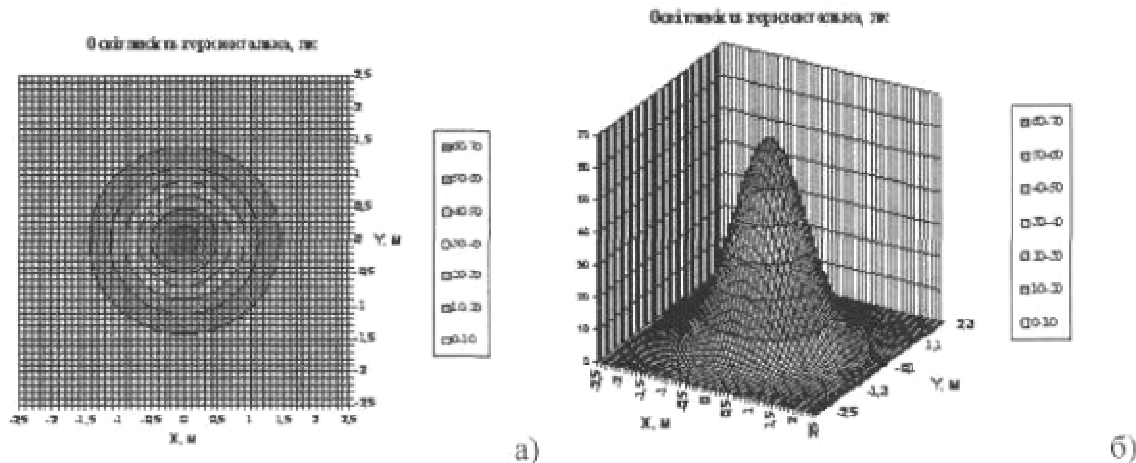


Рис. 6. Розраховані значення горизонтальної освітленості, створюваної світильником із 15-ти світлодіодів LXHL-PW01 з 50° оптикою (висота підвісу 4 м).

При проектуванні світлосигнальних приладів особливу увагу потрібно приділяти стабільності світлотехнічних характеристик, які повинні знаходитися в установлених межах і не повинні зменшуватися нижче встановлених норм [5-7]. У випадку світлодіодних ССП, коли оптичні параметри СВД залежать від величини струму та температури кристалу світлодіода, окрім використання радіаторів для відведення тепла потрібно обирати оптимальні струмові режими.

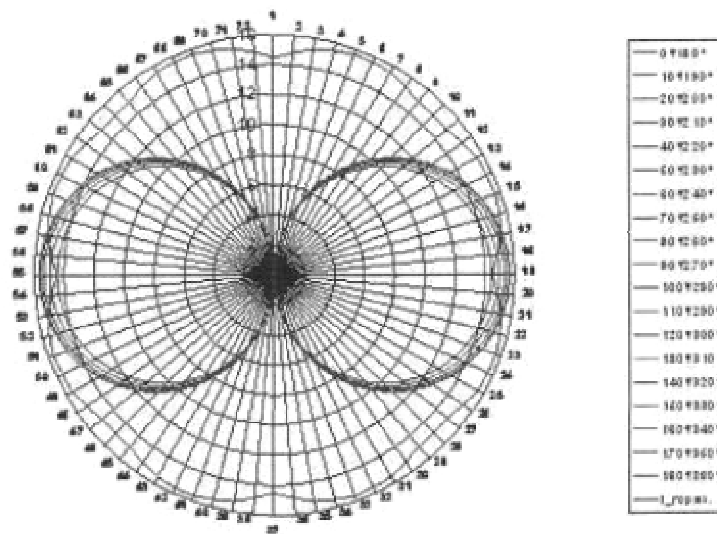


Рис. 7. Представлення розрахованих КСС макета загороджувального вогню.

Розроблена програма, яка дозволяє виконувати попереднє моделювання світлодіодних загороджувальних вогнів на основі отриманих у результаті досліджень результатів. Програма допомагає визначати необхідну кількість СВД для загороджувальних вогнів із заданими характеристиками та їхнє оптимальне просторове розташування, дозволяє прогнозувати зміну світлотехнічних характеристик вогню внаслідок зміни струму, температурних режимів або відмови окремих світлодіодів.

У ході виконання роботи був досліджений макет загороджувального вогню з 16 одноватних діодів LXHL-MD1D, які розміщені попарно на 8 алюмінієвих пластинах, розташованих симетрично навколо оптичного центру. Порівняння експериментальних результатів і теоретичних розрахунків показує, що розроблена програма дозволяє цілком задовільно описувати світлорозподіл макета.

Отримані за допомогою програми результати зручно представляти в полярній системі координат, одночасно показуючи КСС у горизонтальній і різних вертикальних площинах. На рис. 7 наведені розрахункові дані для макета загороджувального вогню.

Виконана робота показала можливість достатньо простими методами виконувати моделювання світлодіодних світильників. Основною проблемою при цьому є отримання значень сили світла окремого світлодіодного джерела (з оптикою та без оптики) в аналітичному вигляді, що передбачає пошук найкращої апроксимації експериментальних результатів.

Список літератури

1. Юнович А.Э. Светодиоды как основа будущего. Светотехника. 2003. № 3. С. 2-6.
2. Коган Л.М. Полупроводниковые светодиоды: современное состояние. Светотехника. 2000. №6. С.11-15.
3. Luxeon Technical Datasheet. <http://www.LUMILEDSFUTURE.com>.
4. Коробко А.А. О некоторых аспектах светораспределения световых приборов для программ расчета освещения. Светотехника. 2001. № 6. С. 22-28.
5. Руководство по проектированию аэродромов. Ч. 4. Визуальные средства. 4-е изд. - 2004.Doc.9157,AN/901.
6. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: В 2 т. / 4-е изд., июль 2004. - Т. 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов.
7. "Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України" (СВ ЦАУ), наказ Державіаслужби України від 17 березня 2006 р., № 201.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДОВ

А.П. Колотюк, В.А. Шевченко

На основании результатов исследования светотехнических характеристик излучающих диодов предлагается программа математического моделирования световых приборов на основе этих светодиодов.

MODELING LED LIGHTING INSTRUMENT

A. P. Kolotyuk, V. O. Shevchenko

The program of mathematical modeling light instrument is offered on the grounds of result of the study light features radiating diode (LED).